

Demostrador de Conceptos de Radiofrecuencia en V-U-SHF mediante equipos SDR. Diseño y Aplicaciones Didácticas

Mascareñas y Pérez-Iñigo, Carlos*, Palma Guerrero, Juan José, Vázquez Mejías, Ana Isabel y Bermúdez Travieso, Tomás.

Grupo de Investigación TIC 191. Señales, Sistemas y Comunicaciones Navales. Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación. Centro Andaluz Superior de Estudios Marinos. Universidad de Cádiz. 11510 Puerto Real. Cádiz

carlos.mascarenas@uca.es

RESUMEN: En este artículo se presenta un equipo electrónico para investigación y enseñanza desarrollado y patentado por investigadores del Grupo Señales, Sistemas y Comunicaciones Navales con el fin de proporcionar a los alumnos del Grado de Ingeniería Radioelectrónica una plataforma de ensayo en la que afianzar sus conocimientos, mediante prácticas regladas o prácticas sugeridas a iniciativa de los propios alumnos, o desarrollar sus Proyectos de Fin de Grado, Máster e incluso Tesis Doctorales. Estos instrumentos electrónicos, que normalmente son receptores de radiofrecuencia adaptados a sistemas computerizados de presentación en pantalla, representan un alto coste de adquisición y mantenimiento y son impensables en talleres de enseñanza de una pequeña Universidad Pública, lo que obliga a agudizar el ingenio del profesorado con el fin de conseguir la mejor preparación técnica, teórica y práctica, de su alumnado mediante plataformas de bajo coste. La experiencia de este Grupo de Investigación, ya demostrada desde 2012 mediante el Demostrador de Conceptos Marconi (<http://marconi.uca.es>) [1], ha permitido diseñar un sistema de frecuencias superiores en el cual se adaptan los dispositivos RTL-SDR a antenas servocontroladas en las bandas de VHF, UHF y SHF, siendo posible aplicar el nuevo demostrador a casi todas las asignaturas “de Radio”.

PALABRAS CLAVE Enseñanza, Entrenamiento, Software Defined Radio, Competencia, Radiotecnia .

INTRODUCCIÓN

De todos es sabida la gran dificultad que supone la detección, localización, medición, análisis, clasificación e identificación de los campos electromagnéticos radiados entre los que nos movemos diariamente. Dado que los sentidos del ser humano trabajan en frecuencias distintas a las de la radio, aquellas que se encuentran por debajo de 3.000 GHz [2], y por lo tanto son necesarios instrumentos electrónicos que permitan representar de una forma comprensible para el alumno qué es lo que se está recibiendo por la antena.

El Ingeniero Radioelectrónico, futuro Oficial Radioelectrónico de la Marina Mercante, debe ser capaz, según el Ministerio de Fomento [3], la UIT [2] y la Organización Marítima Internacional [4], no sólo de operar y mantener los equipos radioelectrónicos bajo su mando en el buque en el que navegue, sino también de los que se le encargue su instalación o reparación desde bases de mantenimiento en tierra. Así mismo es el técnico competente de los diseños de reforma de instalaciones radioeléctricas en buques civiles españoles, e incluso a veces de nueva construcción, cuando el buque porte bandera española, se construya en España para la exportación o se importe desde el extranjero hacia España [3].

Dicho esto, nos encontramos ante un alumnado que no es físicamente capaz de sentir las señales que va a utilizar y por lo tanto, adquirir el concepto correcto de las mismas es extremadamente importante. No es necesario comparar

exhaustivamente “Radioelectrónica” con Puente o Máquinas Navales, mientras que los segundos “sienten” la velocidad de caída del buque, “ven” la diferencia de latitud con las estrellas, “miden” el calado a proa y popa, y los terceros “toman” temperaturas y presiones, “sienten” las vibraciones y “oyen” los ruidos generados por la máquina o por los auxiliares, el Radioelectrónico ni ve, ni oye, ni toca, ni siente las ondas de radio o los bits que circulan por una red de área local embarcada.

Por lo tanto, este Grupo de Investigación se planteó avanzar un poco más en los desarrollos del demostrador Marconi y llevarlos al campo de la *radionavegación*, la *radiolocalización* y la *radioastronomía*, pero de la forma más barata posible. Otra ventaja del Demostrador es que se planteó como proyecto abierto, por lo que su nivel de crecimiento puede ser ilimitado al permitir la participación de los diversos Departamentos e Institutos universitarios en su concepción y su aplicación práctica a los alumnos de los distintos grados de Física, Matemáticas, Ingeniería Electrónica, Informática o Aeroespacial.

Por ejemplo, la Radioastronomía es una ciencia joven, nacida y evolucionada en menos de un siglo gracias al trabajo de personas no directamente relacionadas con la investigación astronómica [5]. La UIT no la contempla como un Servicio de Radiocomunicaciones, pero sí se la incluye en el cuadro de bandas de frecuencias dedicadas a distintos Servicios con el fin de proteger los ensayos científicos sobre cuerpos celestes [6].

La Radioastronomía y las Radiocomunicaciones comparten frecuencias y equipos receptores, dependiendo de a qué serie de futuros datos digitalizados se le denomine *señal* y al resto se le denomine *ruido*, primero de los conceptos que tiene que tener muy claro el Ingeniero Radioelectrónico, la *relación señal/ruido*.

MATERIALES Y MÉTODOS.

En la figura 1 se puede apreciar el conjunto de *antenas servocontroladas* del demostrador de conceptos EAC-10 [7] que dispone de:

- Antena *parabólica Offset* con LNB de la Banda Ku y *dipolo cerrado* de 1420 MHz en su foco.
- Antena parabólica Offset con LNB de la Banda C y dipolo cerrado de 406 MHz
- Antena *Yagi-Uda* de 21 elementos para la frecuencia de 1420 MHz, y
- Antena *Logaritmo-periódica* de 15 elementos para las frecuencias de 200 a 800 MHz.

Todas las antenas son antenas comerciales, bien de televisión o de aficionado. Las seis antenas se instalan sobre un mástil circular que encaja perfectamente en el soporte del rotor de *elevación* Yaesu G550 y este a su vez sobre el rotor de *azimut* Yaesu G650. El rotor de *azimut* se soporta mediante un mástil para antenas parabólicas de un metro de altura y este sobre un conjunto de perfiles metálicos que le proporcionan estabilidad.

Para evitar el fuerte viento que suele azotar la Bahía de Cádiz, la Universidad de Cádiz nos cedió el cupulín de cristal del Centro Andaluz Superior de Estudios Marinos (CASEM) del Campus de Puerto Real. Ubicación temporal hasta que, una vez comprobados e integrados todos los componentes y adquirida una base más consistente, se traslade todo el conjunto al Castillete de la Pala B del mismo edificio, pero al aire libre.

En la piso superior de la cúpula de cobre del CASEM, diez metros en vertical más abajo del cupulín, se encuentra ubicado el Museo de Astronomía Náutica y Navegación de la UCA, que es donde se encuentra ubicado el Centro de Control del Conjunto de Antenas EAC10, a 20 metros de cable coaxial por antena, estando formado por:

- *Controlador de Rotor* de Antenas Yaesu G5500.
- *Ordenador de control del Rotor* de Antenas con *software de seguimiento*.
- *Ordenador de análisis y registro de señales*
- Receptor *Analogico* de Televisión Vía Satélite.
- Receptor de Señales de Televisión *Digital* Terrestre.
- Receptor analógico de Televisión.
- Múltiples receptores de *radio definida por software* denominados RTL-SDR[8].

Una vez conectados los rotores a su controlador y las antenas a sus receptores, nos encontramos con el siguiente montaje, que funciona perfectamente y como tal ha sido patentado por la UCA[7].

Las antenas y LNBs inyectan, mediante el *cable coaxial* y los conectores, las señales de radiofrecuencia recibidas en sendos *amplificadores de línea* (marcados de color rojo en la

figura 1) y estos, que se alimentan a través de apropiados *inyectores de corriente*, a su vez en otros cables coaxiales la señal de radiofrecuencia amplificada hasta los niveles necesarios para poder llegar al sistema de recepción y procesamiento de señales y datos.

Los amplificadores de línea se ubican en la proximidad inmediata de la salida de la antena o detrás de las parábolas o de la verga con el fin de evitar la acción directa de la *energía infrarroja* emitida por el Sol, que puede elevar el *ruido en el Amplificador*.

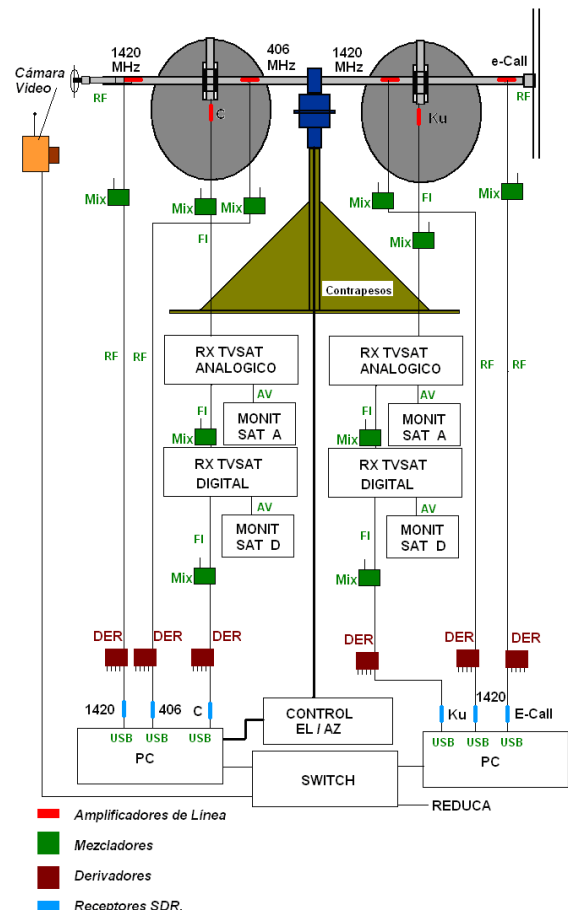


Figura 1. Demostrador de Conceptos de Radiofrecuencia EAC10 Patentado por la UCA.

En el caso de los receptores de televisión vía satélite, y para que el alumno pueda evaluar la bondad del sistema de *seguimiento y apuntamiento* de antenas, se utilizan uno, dos o más receptores de televisión vía satélite por cada antena parabólica, normalmente uno analógico y otro digital con el sistema DBV-S o similar.

Como los receptores de TV vía satélite tienen una entrada y una salida se pueden poner ambos en *cascada* y además se pueden visualizar las imágenes en los monitores que están conectados a las *salidas SCART, Audio-Video o Euroconectores*.

Además, no reflejado en la figura 1, se puede aprovechar la salida de *canal ajustable de radiofrecuencia* para que pueda recibirse la señal sintonizada en un canal de UHF y decodificarse y analizarse por medio de un receptor SDR con

salida USB. En este caso el receptor de televisión vía satélite haría de filtro de RF y de mezclador de señales, bajando de la banda de 900-2700 MHz hasta la de 500-900 MHz.

Al final de los cables coaxiales, ya sea directamente desde los *amplificadores de línea de bajo ruido* (LNA) o desde la *salida de Frecuencia Intermedia* de los receptores de televisión vía satélite, se conecta un receptor de radio definido por software (SDR) que opera en las frecuencias determinadas por la antena.



Figura 2. Cabecera de Radiofrecuencia del Demostrador EAC10

La integración de los receptores con los ordenadores tipo PC, Mac o microordenadores similares a la plataforma Raspberri PI se realiza, por lo general, mediante un interface normalizado como el USB.

El análisis y tratamiento de la señal se realiza mediante el software más adecuado elegido por el equipo docente entre los comerciales, gratuitos o de coste compartido, normalmente el SDR-Sharp [9] o el Spectrmlab [10], Digipan [11], Spectravue [12]. Lo mismo sucede con los programas de decodificación de comunicaciones por radio como Hamcomm [13], Shipploter [14], Plainplotter [15], DSCdecoder [16], NDBfinder [17], Orbitron [18], FLDigi [19], JVComm32 [20], WXSat [21], HFfax [22] y otros.



Figura 3. Consola de Análisis de Señales.

Con el fin de poder medir las señales con los típicos instrumentos de laboratorio radiotécnico se utilizarán

derivadores de una entrada y dos salidas a una entrada y ocho salidas, sin paso de corriente, posibilitando la conexión simultánea de *Osciloscopios*, *Analizadores de Espectros*, *Frecuencímetros*, *Analizadores Vectoriales*, etc. aquellas salidas que no se usen se terminarán con una carga de la misma impedancia que el cable coaxial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como ha podido apreciar el lector, durante el texto anterior se han resaltado un conjunto de palabras en tipo versal. Todas ellas y aún más son los conceptos que se adquieren con este demostrador de bajo coste. En este caso nos encontramos ante un receptor de radio reconfigurable, a través del uso de distintas Frecuencias Intermedias, dependiendo de la frecuencia de trabajo de la antena.

1. Banda de SHF (3.000 a 30.000 MHz).

1.1 Televisión vía satélite.

A través del LNB de la Banda Ku se pueden recibir las señales de televisión vía satélite utilizando los receptores de televisión vía satélite específicos, ver el espectro de FI de la imagen transmitida y la codificación analógica o digital a través de la salida de frecuencia intermedia del receptor o las señales de banda base ya decodificadas por las salidas de audio o video, utilizando un RTL-SDR.

Así mismo podemos utilizar un receptor RTL-SDR recibiendo directamente desde el LNB en FI y ver el espectro de dicha señal.

1.2 Señales de radar Banda X.

A través del LNB de la Banda Ku se pueden recibir las señales de Radar marino, por lo que podemos utilizar un receptor RTL-SDR recibiendo directamente desde el LNB en FI y ver el espectro de dicha señal en la banda de VHF.

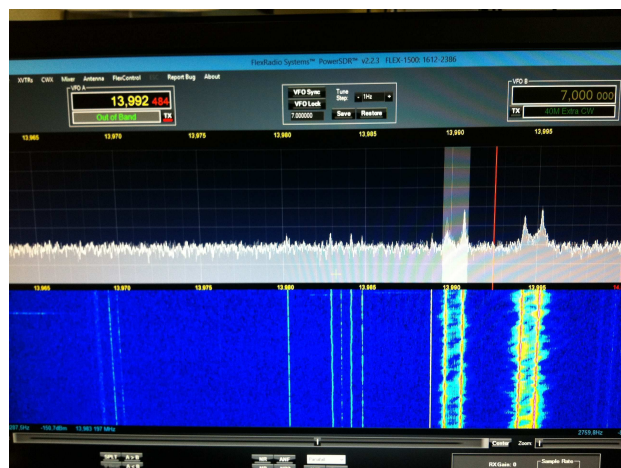


Figura 4. Ejemplo de señales digitales recibidas por el Demostrador EAC10

1.3 Televisión vía satélite (4-6 GHz).

A través del LNB de la Banda C se pueden recibir las señales de televisión vía satélite utilizando los receptores de televisión vía satélite específicos, ver el espectro de FI de la imagen transmitida y la codificación analógica o digital a través de la salida de frecuencia intermedia del receptor o las señales de banda base ya decodificadas por las salidas de audio o video, utilizando un RTL-SDR.

Así mismo podemos utilizar un receptor RTL-SDR recibiendo directamente desde el LNB en FI y ver el espectro de dicha señal.

1.4 Señales de radar Banda C (3-4 GHz).

A través del LNB de la Banda C se pueden recibir las señales de Radar marino, por lo que podemos utilizar un receptor RTL-SDR recibiendo directamente desde el LNB en FI y ver el espectro de dicha señal en la banda de VHF.

2. Banda de UHF (300 a 3.000 MHz).

2.1 Radioastronomía.

A través de la antena Yagi de 1420 MHz, o del dipolo cerrado en el foco de una parabólica, y directamente conectada al RTL-SDR o a través del LNA se pueden recibir las emisiones de H provenientes del Sol, así como la emisión de Deuterio en 327,4 MHz con la antena de Logperiódica. El Seguimiento se realiza a través del programa Orbritrón®.

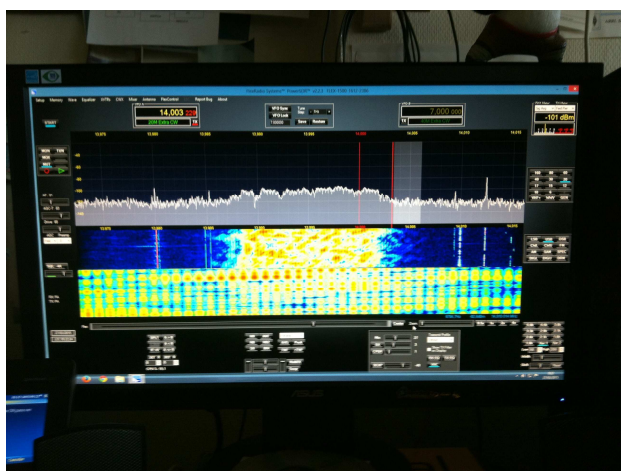


Figura 5. Ejemplo de señales digitales de Banda Ancha recibidas por el Demostrador EAC10

2.2 Radiolocalización.

A través de la antena dipolo cerrado en el foco de la otra parabólica o a través de la Logaritmo periódica y conectando directamente el RTL-SDR al coaxial o a través del LNA, se pueden recibir las EPIRBS de 406 MHz.

A través de las antenas de 1420 MHz los TACAN de ciertos aeropuertos, aunque no sea su antena apropiada.

2.3 Servicio de Observación de la Tierra.

A través de la antena de 1420 MHz el satélite Meteosat, aunque no sea su antena apropiada.

2.4 Servicio de Aficionados y Aficionados Vía Satélite.

Recepción en la banda de 430-440 MHz. Repetidores. Aficionados vía satélite. Packetradio Televisión de aficionado en 439 y 1240 MHz.

2.5 Servicio de Radiodifusión.

A través de la antena logaritmo periódica, las emisiones de televisión analógica y digital.

2.6 Servicio Móvil Terrestre.

A través de la antena logaritmo periódica, estudio de las comunicaciones de telefonía móvil, TETRA y otras de interés.

3 Banda de VHF (30 a 300 MHz).

Análisis de Espectros. Confirmación de protocolos y modulaciones. Escucha directa a través de RTL-SDR y decodificación a través del programa adecuado a cada tipo de emisión de:

3.1 Servicio Móvil Marítimo.

Recepción de las frecuencias de VHF/FM marítimas, frecuencia de socorro de hombre al agua 121,5 MHz, decodificación de la Llamada Selectiva Digital, decodificación del AIS.

3.2 Servicio Móvil Aéreo.

Recepción de la banda de frecuencias aeronáuticas VHF/AM, control de aproximación, rodadura, aparcamiento, radar, VOR, etc.

3.3 Servicio de Observación de la Tierra.

Recepción de satélites NOAA en la banda de 135-139 MHz.

3.4 Servicio de Aficionados y Aficionados Vía Satélite.

Recepción en la banda de 144-146 MHz. Repetidores. Aficionados vía satélite. APRS. Echolink.

3.5 Servicio de Radiodifusión

Recepción de las emisoras de radiodifusión en WFM

CONCLUSIONES

No es ningún disparate concluir que un pequeño dispositivo SDR, de valor económico despreciable, ha revolucionado el sistema de enseñanza de la Radioelectrónica en la Universidad de Cádiz, donde los alumnos llevan cada uno el suyo en el bolsillo para realizar las prácticas en la Escuela y en su domicilio. Los equipos de radio definidos por software son un buen ejemplo de aprovechamiento del mínimo hardware para la utilización de la mayor parte de los sistemas de radiocomunicaciones simplemente sustituyendo el software de decodificación y compartiendo el de control.

Gracias a ellos se ha leído una Tesis Doctoral y otra está en marcha, así como un Proyecto de Fin de Máster en la Escuela de Ingenierías Marina, Náutica y Radioelectrónica.

El alumno de Ingeniería Radioelectrónica ya no podrá decir que "no visualiza las Radiocomunicaciones", y para ello estamos preparando una serie de videos didácticos sobre análisis de señales que serán distribuidos gratuitamente tanto por la red Internet como por las redes sociales.

REFERENCIAS

1. Mascareñas, C.; Palma, J.J. Demostrador de Conceptos de Radiofrecuencia para las asignaturas del Grado en Ingeniería Radioelectrónica. *Radioaficionados*. 2013. Octubre. 4-8.
2. UIT. *Reglamento de Radiocomunicaciones*. Unión Internacional de Telecomunicaciones. Ginebra. 2012.
3. Ministerio de Fomento. *Real Decreto 1185/2006, de 16 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento por el que se regulan las radiocomunicaciones marítimas a bordo de los buques civiles españoles*. Boletín Oficial del Estado. 2006.
4. OMI. *Convenio para la Formación, Titulación y Guardia de la Gente de Mar*. Organización Marítima

- Internacional. Londres 1995 con las Enmiendas de Manila de 2010.
- 5 Bradaschia, F. *Radioastronomy. Introduction to invisible sky*. Sandit Libri. 2014.
- 6 UIT. Recomendación UIT-R RA.314-10 *Bandas de frecuencias preferidas para las mediciones radioastronómicas* 1995-2003. Ginebra 2003.
- 7 Mascareñas, C.; Palma; J.J. *Demostador de conceptos de radiofrecuencia con aplicaciones múltiples en el campo de la enseñanza Superior*. Patente E201300558. Oficina Española de Patentes y Marcas.
- 8 Palma, J.J. *Estudio y aplicación del Procesado Digital de la Señal a las radiocomunicaciones digitales*. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz. Octubre. 2014.
- 9 <http://sdrsharp.com/#sdrsharp>
- 10 <http://spectrum-lab.software.informer.com/>
- 11 <http://www.digipan.net/>
- 12 <http://www.moetronix.com/spectravue.htm>
- 13 <http://www.pervisell.com/ham/hc1.htm>
- 14 <http://www.coaa.co.uk/shipplotter.htm>
- 15 <http://www.coaa.co.uk/planeplotter.htm>
- 16 <https://www.coaa.co.uk/dscdecoder.htm>
- 17 <https://www.coaa.co.uk/ndbfinder.htm>
- 18 <http://www.stoff.pl/>
- 19 <http://www.w1hkj.com/download.html>
- 20 http://www.jvcomm.de/index_e.html
- 21 http://www.hffax.de/html/hauptteil_wxsat.htm
- 22 <http://www.hffax.de/>

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Grupo de Investigación Señales, Sistemas y Comunicaciones Navales de la Universidad de Cádiz la aportación económica necesaria para la investigación sobre RTL-SDR.